

## USO DE TÉCNICAS DE MEDIDA DE NIVEL DE VELOCIDAD DE VIBRACIÓN Y SOLIDNOISE™ EN LA EVALUACIÓN DE CÁMARAS ACÚSTICAS DE TRANSMISIÓN SONORA

PACS: 43.55 Rg

Romero Fernández, Amelia<sup>1</sup>; San Millán-Castillo, Roberto<sup>2</sup>; Domingo Bets, Salvador<sup>3</sup>; Casla Herguedas, Belén<sup>4</sup>; Frutos Vázquez, Borja<sup>5</sup>; Olaya Adán, Manuel<sup>6</sup>; Pavón García, Ignacio<sup>7</sup>.

<sup>1, 4, 5, 6</sup> Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja - CSIC

C/ Serrano Galvache 4. 28033 Madrid. España. Teléfono: +34 91 302 04 40

E-mail: <sup>1</sup>[aromero@ietcc.csic.es](mailto:aromero@ietcc.csic.es); <sup>4</sup>[belench@ietcc.csic.es](mailto:belench@ietcc.csic.es); <sup>5</sup>[borjafv@ietcc.csic.es](mailto:borjafv@ietcc.csic.es); <sup>6</sup>[olaya@ietcc.csic.es](mailto:olaya@ietcc.csic.es).

<sup>2</sup> E.T.S.I. Telecomunicación – Universidad Rey Juan Carlos  
28943 Fuenlabrada (Madrid). España

E-mail: [roberto.sanmillan@urjc.es](mailto:roberto.sanmillan@urjc.es)

<sup>3</sup> Bluenoise, S.L.

C/ Joanot Martorell, 7-2. 46470 Catarroja (Valencia). España

E-mail: [hal@noiselab.net](mailto:hal@noiselab.net)

<sup>7</sup> Grupo de Investigación en Instrumentación y Acústica Aplicada. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Crta. de Valencia Km-7. 28031 Madrid. España

E-mail: [ignacio.pavon@upm.es](mailto:ignacio.pavon@upm.es)

### ABSTRACT

To know the limits and performance of transmission suites (CEA) transmission flanks measurements are required, among others. At the Institute of Construction Science Eduardo Torroja, acoustic chambers are used as a testing scene for a new engineering tool called SolidNoise™, with which flanking sound transmission and flanking paths contribution of the different faces have been estimated.

This paper shows the study made in this test environment and the results of CEA characterization that will allow to improve them and to take advantage of their working range.

### RESUMEN

Para conocer los límites y las prestaciones de las cámaras de transmisión sonora (CEA) se requiere, entre otras, pruebas de evaluación de la transmisión por flancos. En el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, se han usado las cámaras acústicas como campo de pruebas para una nueva herramienta de ingeniería llamada SolidNoise™, con la que se ha podido estimar la transmisión por flancos, y la contribución de las vías de transmisión de los diferentes paramentos.

En esta comunicación se presenta el estudio realizado en este entorno de pruebas y los resultados obtenidos de caracterización de las cámaras que permitirán optimizarlas y explotar sus posibilidades de trabajo.

## 1. INTRODUCCIÓN

La transmisión del ruido posee dos mecanismos diferenciados en relación al medio de propagación de la onda acústica, la vía aérea y la vía estructural (directas e indirectas o por flancos) y existen muchos estudios para su cuantificación [1], [2] y un modelo de cálculo normalizado [3] en el que se basa nuestra reglamentación acústica [4]. Los estudios en el ámbito de la acústica arquitectónica, enfocados en resolver el problema del aislamiento acústico in situ entre recintos, deben tener en cuenta estos conceptos físicos de generación y transmisión sonora para poder abordar la problemática del ruido con soluciones que garanticen un aislamiento acústico óptimo. Por ello, debe estudiarse, no sólo la vía de transmisión principal a través del paramento que separa ambos recintos, sino la contribución del resto de paramentos y/o elementos constructivos que, en contacto con él, pueden tener mayor o menor influencia en el aislamiento final conseguido.

En el laboratorio de acústica del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja se vienen realizando estudios sobre los mecanismos y fenómenos de propagación de ondas, en el ámbito de la acústica de la edificación, atendiendo especialmente al *interface* sólido-gas. Dentro de este contexto se enmarca este trabajo en el que se ha querido probar una nueva herramienta de ingeniería para la evaluación de la transmisión por flancos a partir de la medida de la velocidad de vibración sobre las superficies que conforman los recintos (existe un procedimiento estandarizado en laboratorio en relación a estas medidas de vibración [5]). La teoría de la transmisión por flancos ha sido ampliamente estudiada, tanto en laboratorio como in situ, y mediante técnicas diferentes [6]. La relación entre la velocidad de vibración del contorno que confina el espacio, y el ruido radiado por dichas superficies, constituye un campo de indudable interés en el contexto de este estudio [7].

En este sentido se ha iniciado este trabajo de investigación mediante el uso de la herramienta de ingeniería SolidNoise<sup>TM</sup> con el objeto de estudiar los mecanismos de propagación del ruido entre dos recintos de características conocidas (cámaras de transmisión acústica, CEA) y con la intención de, por un lado conocer las posibilidades de esta tecnología y avanzar en su validación y calibración en un entorno de ensayo conocido, y por otra parte, estudiar la caracterización de las cámaras de transmisión horizontal en relación al aislamiento acústico a ruido aéreo de particiones verticales. La metodología SolidNoise<sup>TM</sup> se basa en caracterizar el ruido aéreo de un recinto mediante la medida de las vibraciones en el contorno sólido del mismo y conocer el balance energético aportado por cada una de las superficies que lo encierran; estimando de esta forma cómo contribuye cada una de las superficies que delimitan el recinto al nivel de ruido de recepción.

El objetivo de esta comunicación es presentar, a modo de avance, los resultados de esta primera fase del proceso de caracterización de los recintos de ensayo mencionados, que serán objeto de una segunda fase de validación y acotación del método de evaluación que podrán ser publicados posteriormente. Los resultados obtenidos orientan a tener en cuenta el sistema y la metodología en aplicaciones de acústica arquitectónica de gran interés como es la búsqueda de puntos débiles en cerramientos, el estudio de patologías, y la optimización en el uso de sistemas de rehabilitación en donde es fundamental tener en cuenta las vías de transmisión indirecta, valorando la conveniencia de actuar o no sobre determinados flancos y en qué medida debe hacerse.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DE ENSAYO

Las mediciones se realizaron en las cámaras acústicas de transmisión del Laboratorio de Acústica del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. En la Figura 1 se muestra un esquema de dichas cámaras.

Estas cámaras están normalizadas para el ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo, configurándose como dos espacios de planta rectangular separados por una abertura de 10 m<sup>2</sup> para la instalación de la muestra de ensayo. La configuración constructiva atiende a la estructura box-in-box, con ambos recintos desolidarizados mediante distintos sistemas elásticos y con superficies rígidas en la cámara de emisión, y flexibles en la de recepción con el objeto de controlar el tiempo de reverberación.

Las puertas de acceso a las cámaras son de aluminio con aislamiento interno y juntas de sellado por presión en la carpintería.

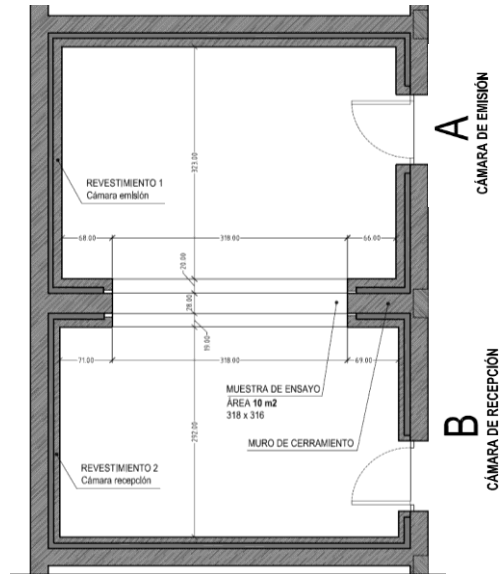


Figura 1 - Esquema en planta de las cámaras de transmisión

La muestra que se construyó para la realización de este trabajo experimental fue:  
MA (25mm) + LP (115mm) + M (3mm)

- MA (25 mm): Revestimiento de mortero con árido de 25 mm de espesor;
- LP (115mm): Pared de ladrillo perforado de ½ pie de espesor;
- M (3 mm): Revestimiento con mortero de cemento de 3 mm de espesor;

Espesor de la muestra: 14,3 cm  
Masa por unidad de superficie:  $m = 185,3 \text{ kg/m}^2$

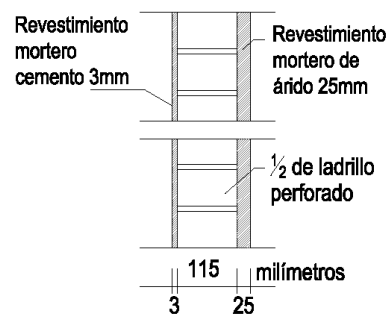


Figura 2 - Muestra de ensayo

### 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El objetivo fundamental de la fase experimental son las mediciones de nivel de velocidad de vibración. La adquisición de dicho parámetro es parte integrante de la metodología de cálculo integrada en el método SolidNoise<sup>TM</sup>.

SolidNoise<sup>TM</sup> es un método matricial para la ingeniería de aislamiento acústico [8]. Se basa en la estimación del nivel de recepción en un recinto teniendo en cuenta la contribución de cada una de las superficies límite del mismo. Esa contribución se consigue a través del conocimiento del nivel de velocidad de vibración, la superficie de los paramentos tenidos en cuenta, la unión entre ellos, y los datos obtenidos a través de un ensayo convencional de aislamiento acústico a ruido aéreo entre locales [9].

La primera parte del procedimiento de medida consiste en la medición del nivel de velocidad en la sala receptora (B) de la CEA de transmisiones. Durante las mediciones se requiere que haya una excitación en la sala emisora (A) de la misma CEA. Tal excitación será un campo sonoro difuso generado en la sala emisora con señal de ruido rosa filtrado. Este mismo procedimiento

se volverá a repetir intercambiando las salas: en la sala receptora (B) se generará el campo sonoro difuso excitador, mientras que en la sala emisora (A) se realizarán las mediciones de nivel de velocidad.

La adquisición de datos se realiza con un analizador en frecuencia, y una sonda de vibraciones diseñada para la ejecución de esta metodología [10].



Figura 3 - Sonda SolidNoise™ para la ejecución de las mediciones de nivel de velocidad de vibración.

De cara a obtener información detallada para este estudio, y futuros desarrollos del mismo, se opta por realizar un muestreo amplio en todas las superficies de la CEA. La idea es buscar distribuciones homogéneas de comportamiento de vibración por lo que se discretizan las zonas, distinguiéndose un total de 20 superficies que se indican a continuación:

- **Paredes laterales (A, B y C):** 3Uds. para la sala receptora y 3Uds. para la sala emisora;
- **Pared D:** 1Ud. para la sala receptora y 1Ud. para la sala emisora. Pared continuación del hueco porta-muestras;
- **Interior pared muestra:** se trata del perfil de la pared (Pared D) que enlaza con el porta-muestras, y que es visible y accesible. 1Ud. para la sala receptora y 1Ud. para la sala emisora.
- **Marco:** se trata de la superficie visible y accesible del porta-muestras. 1Ud. para la sala receptora y 1Ud. para la sala emisora.
- **Muestra:** es el espécimen de ensayo que se encontraba instalado en el marco porta-muestras común a la sala receptora y la sala emisora de la CEA. Se consideran las caras que dan a una y otra sala, así: 1Ud. para la sala receptora y 1Ud. para la sala emisora.
- **Techo:** 1Ud. para la sala receptora y 1Ud. para la sala emisora.
- **Suelo:** 1Ud. para la sala receptora y 1Ud. para la sala emisora.
- **Puerta:** 1Ud. para la sala receptora y 1Ud. para la sala emisora.

En cada una de las superficies se realiza un muestreo “ad hoc” en función de su tamaño y su situación respecto a las demás. Por regla general el muestreo es más amplio en las superficies grandes, y va disminuyendo según lo hace la superficie de los paramentos. En la Figura 4 se presenta un ejemplo ilustrativo de un esquema de muestreo en la CEA, así como la distribución de los puntos de medida sobre cada una de las superficies.

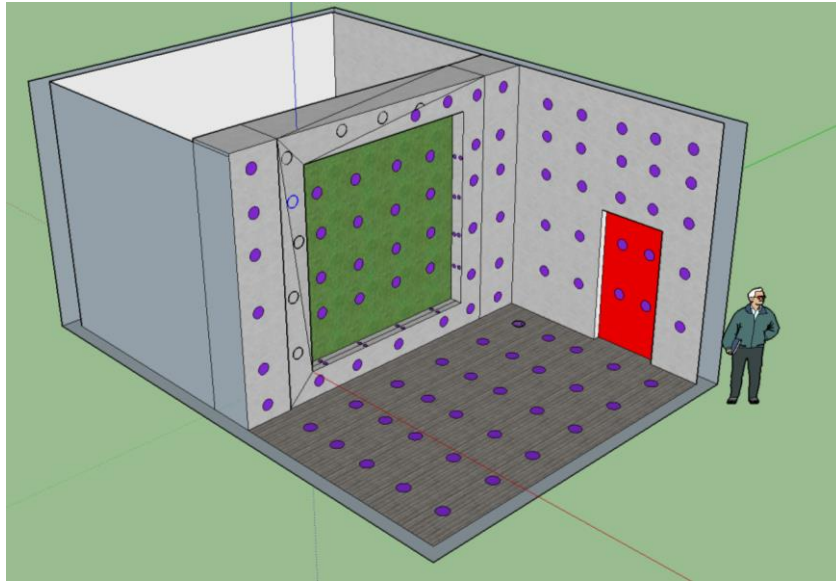


Figura 4 - Esquema de la sala receptora de la CEA, incluyendo algunos puntos de medida de vibración en cada una de las superficies límite consideradas (puntos sobre la superficie)

Se realizaron medidas de vibración de fondo, en cada uno de los paramentos que conforman la CEA para comprobar la validez de las mediciones en la presencia de excitación.

La configuración del analizador fue la siguiente: FFT, 1601 líneas, rango de frecuencias hasta 5 kHz y tiempo de medida 6 segundos por muestra. Se trata de obtener una base de datos experimentales de detalle, aunque para simplificar explicaciones posteriores, los resultados se presentan en bandas de 1/3 de octava.

El equipamiento empleado se enumera a continuación. Todos sus elementos se clasifican como de precisión y su uso está extendido en el ámbito profesional:

- Fuente sonora, modelo 4224, de la firma Brüel & Kjaer.
- Analizador en frecuencia, modelo SVAN977, de la firma Svantek.
- Sonda SolidNoise<sup>TM</sup>, de la firma Bluenoise.
- Micrófono, modelo ACO7052E, de la firma Svantek.
- Preamplificador de micrófono, modelo SV12L IEPE, de la firma Svantek.
- Programa de tratamiento de datos, modelo Noiselab<sup>TM</sup>, de la firma Bluenoise.

Además, como segunda parte del procedimiento de medida, se realizaron dos ensayos convencionales de aislamiento a ruido aéreo entre recintos [9]. Para realizar estos ensayos se reutilizó el equipamiento descrito simplemente cambiando la configuración del equipo para convertirlo en un analizador de señal acústica, y sustituyendo la sonda de vibraciones por un micrófono.

El número de registros que se manejó para la obtención de todos los resultados es de 412 teniendo en cuenta: niveles de vibración, vibración de fondo, medidas de ajuste interno, y mediciones de aislamiento a ruido aéreo in situ.

#### 4. RESULTADOS

El parámetro que se ha procesado y estudiado es la diferencia de niveles estandarizada ( $D_{nT}$ ) en el rango de frecuencias de 100 a 5000 Hz [4].

El ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo mediante la metodología convencional y su procesamiento mediante el programa de procesamiento de datos de SolidNoise™ (Noiselab) ha dado los resultados siguientes, tanto en espectro (Figura 5) como en resultados globales (Tabla 1):

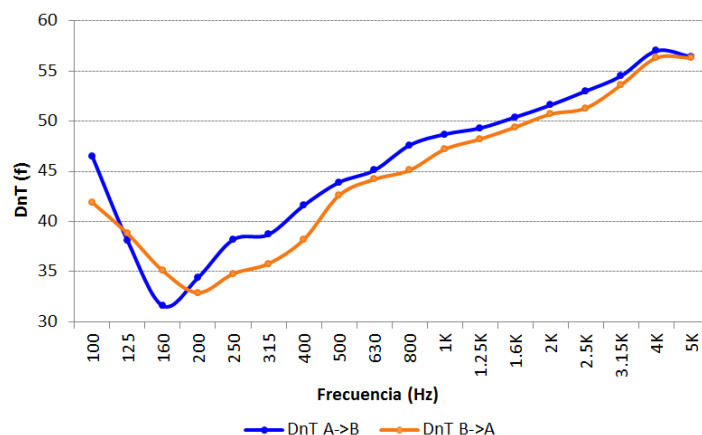


Figura 5 - Espectro en 1/3 de octava de aislamiento acústico en ambos sentidos de medición

	Sentido A->B	Sentido B->A
<b>D<sub>nT,w</sub>(C ; Ctr) (dB)</b>	47 (0;-4)	46 (0;-4)
<b>D<sub>nT,A</sub> (dBA)</b>	46,9	45,3

Tabla 1 –Resultados globales de aislamiento acústico

Mediante el método de evaluación SolidNoise™ objeto de estudio, a través del procesamiento de los resultados de la velocidad de vibración captada en las diferentes superficies, podemos analizar la contribución al aislamiento final de cada vía de transmisión; bien cada una de ellas individualmente o agrupadas según la tipología de partición (por ejemplo, paredes), según patrones de vibración similares, etc. y según el interés del análisis.

Estos resultados se pueden obtener tanto gráfica (Figura 6) como numéricamente, para todas las bandas de 1/3 de octava del rango de frecuencias de interés.

La figura siguiente muestra las curvas de aislamiento de las distintas vías de transmisión agrupadas. Se ha considerado que, desde el punto de vista del análisis, las agrupaciones de interés son las siguientes:

- Muestra;
- Paredes (Paredes laterales A + B + C);
- Pared muestra (Pared D);
- Marco (Interior pared muestra + Marco);
- Suelo;
- Techo;
- Puerta.

Con trazo más grueso se muestra la curva de aislamiento global.



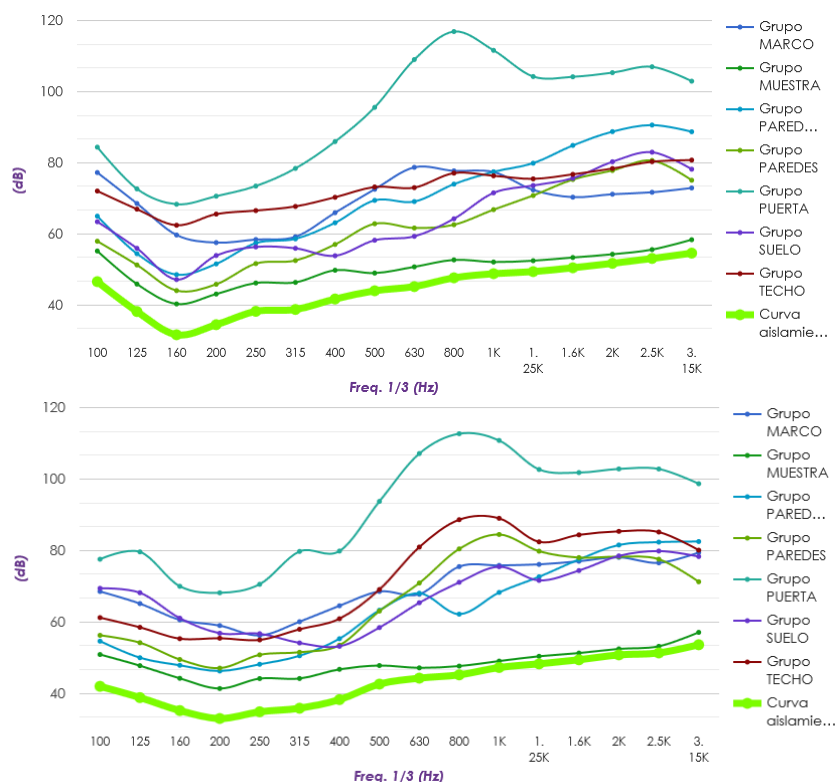


Figura 6 – Contribución al aislamiento de las distintas vía de transmisión agrupadas, en ambos sentidos de medición. Arriba A->B. Abajo B->A

A la vista de las curvas mostradas se puede apreciar cómo la curva de aislamiento global viene condicionada por la curva de aislamiento de la muestra, especialmente a partir del tercio de octava de 630 Hz donde prácticamente se superponen. Es en más baja frecuencia donde se aprecia cierta influencia de la transmisión por vía de otros elementos constructivos.

Como es lógico, la transmisión a través de muestra es siempre la transmisión dominante; sin embargo, mediante el uso de esta metodología vemos qué transmisiones secundarias serían las siguientes en orden de importancia: la pared D y el suelo. Por otra parte, los elementos que menos transmiten son el marco porta-muestras y las puertas (Figura 7a).

Estos datos también pueden analizarse desde el punto de vista porcentual de la contribución individual de cada elemento (o de cada grupo), tanto en espectro para cada uno de los elementos como todos y cada uno de los elementos se comportan en una determinada frecuencia (Figura 7b)

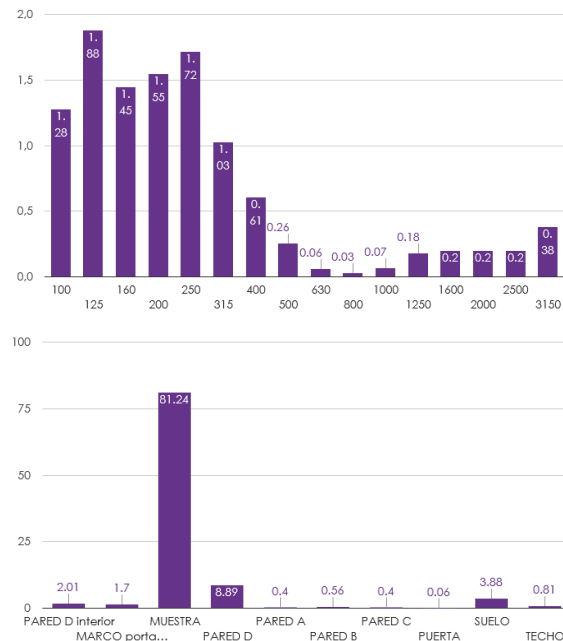


Figura 7 – 7a) Transmisión acústica de la puerta en sentido A->B para todo el espectro. 7b) Transmisión acústica de cada elemento estudiado en el 1/3 de octava de 1 kHz en sentido B->A

Por último, existe un módulo llamado *Noise Mapper* que realiza una representación gráfica en forma de mapa con interpolación, de las mediciones de nivel de velocidad de vibración en cada una de las superficies límite. De esta forma, nos permite “visualizar” el comportamiento de las transmisiones acústicas por las diferentes superficies y elementos estudiados mediante una graduación de colores de los niveles de vibración superpuestos a fotografías reales del entorno del ensayo.

En el ejemplo siguiente (Figura 8) se muestra para el 1/3 de octava de 125 Hz cómo es la transmisión del ruido en la cámara receptora en la muestra, marco, pared D interior, pared D, pared C, puerta y suelo. Para ello previamente se han definido las superficies de estudio de interés, un mallado de puntos en cada una de ellas y se les ha asignado las mediciones de vibración correspondientes.

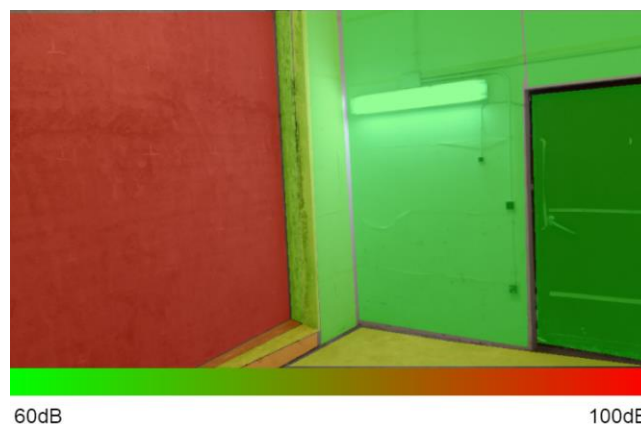


Figura 8 – *Noise Mapping* para el tercio de octava de 125Hz



## 5. CONCLUSIONES

La transmisión por vía de flancos es un tema muy importante en la acústica de la edificación; los recintos reales tienen radiación del sonido a través de muchos caminos de transmisión y es muy importante que contemos con procedimientos y herramientas, que sean fácilmente trasladables a situaciones in situ, para la medida y evaluación de los caminos de flanco.

En este trabajo se ha realizado un primer acercamiento al sistema de medida SolidNoise<sup>TM</sup> que evalúa el aislamiento acústico in situ mediante el estudio individualizado de cada paramento que conforma los recintos y su contribución al resultado final. En entorno de ensayo ha sido unas cámaras de transmisión acústica. Adicionalmente al ensayo convencional de aislamiento acústico, se han realizado mediciones de velocidad de vibración en cada una de las superficies de ambos recintos emisor y receptor mediante la sonda de vibraciones.

En el caso de estudio, la herramienta ha mostrado los caminos de transmisión secundarios y sus porcentajes. Si bien estos caminos que existen no son en ningún caso dominantes, sí nos orientan en determinadas actuaciones de mejora que se podrían acometer, previendo una segunda fase de trabajo que nos sirva además para estudiar la validación de la herramienta.

A falta de profundizar en el uso, funcionamiento, aplicabilidad y validación de este sistema de medida, lo que hemos podido constatar es su interés para profundizar en el conocimiento de la transmisión estructural por flancos a la hora de resolver problemas de aislamiento acústico in situ. Por otra parte, y desde un punto de vista más práctico y aplicado, no cabe duda del interés de usar esta tecnología para la detección de patologías acústicas y en los proyectos de rehabilitación acústica, de forma que conozcamos, de manera más precisa, la conveniencia de actuar sobre el elemento separador o sobre los elementos de flanco, sobre cuál/cuáles y en qué medida, encaminando el proyecto acústico de rehabilitación hacia soluciones más eficaces.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Gerretsen, E., "Calculation of sound transmission between dwellings by partitions and flanking structures", *Applied Acoustics* 12 (1979) 413-433.
- [2] Craik, R.J.M., "The contribution of long flanking paths to sound transmission in buildings", *Applied Acoustics* 62 (2001) 29-46.
- [3] UNE EN 12354. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico del ruido aéreo entre recintos.
- [4] DB HR Documento básico de Protección frente al ruido. Septiembre 2009. Código Técnico de la Edificación.
- [5] UNE-EN ISO 10848-1. Acústica. Medida en laboratorio de la transmisión por flancos de ruido aéreo y del ruido de impacto en recintos adyacentes. Parte 1: Documento marco (2007).
- [6] Andrade, C.A.R., Barbaresi, L., Fausti, P. & Semprini, G., "Comparison between measurement techniques to estimate flanking sound transmission", IV Congreso FIA 2004, Guimarães, Portugal
- [7] Cremer, L. and Heckl, M. "Structure-borne sound. Structural vibrations and sound radiation at audio frequencies", Springer-Verlag (1973)

- [8] Aniorte Pérez, José Antonio y Domingo Bets, Salvador. "Método matricial para la ingeniería de aislamiento acústico". 41º Congreso nacional de Acústica, Tecniacústica León - 2010.
- [9] UNE-EN ISO 16283. Acústica. Medición in situ del aislamiento acústico de los edificios y en los elementos de la construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.
- [10] San Millán-Castillo, Roberto; Domingo, Salvador; Pavón, Ignacio. "Evolución de una sonda de vibraciones para simplificar la evolución de la transmisión sonora por flancos entre recintos". 46º Congreso nacional de Acústica, Tecniacústica